

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Konstrukční návrh polohovadla k robotům Mitsubishi

Design of a Positioner for Mitsubishi Robots

Student:

Ondřej Kubeša

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Lipina

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student:	Ondřej Kubeša
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2301R013 Robotika
Specializace:	70 Robotika
Téma:	Konstrukční návrh polohovadla k robotům Mitsubishi Design of a Positioner for Mitsubishi Robots

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu vhodných existujících průmyslových polohovadel.
2. Navhňte varianty konstrukčního řešení polohovadla pro součinnost s roboty Mitsubishi.
3. Hodnotovou analýzou vyberte optimální variantu řešení.
4. Vybranou variantu zpracujte ve formě technického řešení. Doložte potřebnými výpočty a výkresem sestavy.
5. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků.
6. Práci doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MS WORD a konstrukčním řešením v CAD systému (dle pokynů vedoucího)

Seznam doporučené odborné literatury:

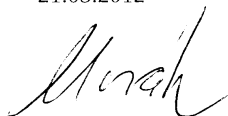
- [1] *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*. [online] Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/>](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/)
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 230s. ISBN 978-80-248-1717-0.
- [3] SKAŘUPA, Jiří; MOSTÝN Vladimír. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vyd. Košice : Edice vědecké a odborné literatury-Strojní fakulta TU v košicích, 2002. 190s. ISBN 80-88622-55-0.
- [4] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 260s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [5] SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1993. 149s. ISBN 80-7078-167-X.
- [6] BURKOVÍČ, Jan. *Projektování a provoz RTP*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. 118s. ISBN 80-248-0709-2.
- [7] KÁRNÍK, Ladislav. *Periferní zařízení RTP*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 127s. ISBN 80-248-1221-5.
- [8] GRILL, Jiří. *Diplomová práce*. Ostrava 2010, 56s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Lipina**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a použitou literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že v VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne.....

.....

jméno a příjmení studenta

Adresa trvalého bydliště:

Světlov 90

785 01, Šternberk

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KUBEŠA, O. Konstrukční návrh polohovadla k robotům Mitsubishi. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2012, 36 s. Vedoucí práce: Lipina, J.

Bakalářská práce se zabývá návrhem polohovadla, jakožto rotačního stolu pro roboty Mitsubishi RV - 2AJ a RV - 1A, které jsou umístěny na katedře robototechniky VŠB-TUO Ostrava. Po dohodě s vedoucím práce bylo zjištěno, že polohovadlo se bude nejspíše využívat pouze pro robot RV-1A. S tímto vědomím byly navrženy varianty řešení rotačního stolu a hodnotovou analýzou zjištěna optimální varianta, která se dále řeší. Při řešení dané optimální varianty se uvažovalo nad polohou rotačního stolu na pracovišti a nad danými podmínkami, za kterých bude polohovadlo sloužit. Celá práce vychází z požadavkového listu, který bylo potřeba dodržet.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

KUBEŠA, O. Design of a Positioner for Mitsubishi robots. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2012, 36 s. Thesis head: Lipina, J.

Bachelor thesis describes the design of manipulator as a rotating table for Mitsubishi robots RV – 2AJ and RV – 1A, which are located at the Department of Robotics Technical University of Ostrava. In agreement with supervisor was found that the positioner will probably use for robot RV – 1A only. With this in mind, have been designed alternative solutions of rotary table and value analysis found the optimal variant, which is addressed also. In solving the optimal alternative to a rethinking of the position of the rotating table at work and given the condition under which the positioner to serve. The entire work is based on request sheet that had to be accomplish.

Obsah

1	Pracoviště	1
2	Popis robotů v součinnosti s polohovadlem	2
2.1	Modelová řada.....	2
2.2	Mitsubishi RV - 1A.....	3
2.3	Mitsubishi RV - 2AJ	5
3	Analýza vhodných existujících průmyslových polohovadel.....	7
3.1	Analýza problematiky polohovadel	7
3.2	Fohrenbach - Rotační stůl se šnekovým převodem.....	8
3.3	Fohrenbach - Rotační stůl s přímým pohonem	8
3.4	Sirap Group Petružálek – Rotační stůl TR.....	9
3.5	ABB polohovadlo.....	9
3.6	Polohovadlo OJ-10P katedry robototechniky	10
4	Navržené varianty konstrukčního řešení	11
4.1	Požadavkový list	11
4.2	Rotační stůl s mechanismem maltézského kříže	12
4.3	Rotační stůl s třecím převodem.....	13
4.4	Rotační stůl s krokovým motorem v ose otáčení	14
5	Určení optimální varianty	15
5.1	Hodnotová analýza.....	15

6	Technické řešení, výpočty.....	19
6.1	Zajištění hřídele a ložiska.....	19
6.2	Navržení ložiska.....	20
6.3	Výpočet ložiska.....	21
6.4	Návrh připojení motoru k hřídeli rotačního stolu	22
6.5	Výpočet požadovaného kroutícího momentu motoru	24
6.6	Zvolení motoru.....	26
6.7	Zvolení řídicí jednotky motoru	28
6.8	Celkový pohled na optimální variantu	29
7	Závěr.....	32
8	Seznam literatury	34
9	Seznam příloh	36
9.1	Výkresy	36
9.2	CD-ROM.....	36

Seznam použitého značení

J1-J6	Úhel natočení ramene robotu	[°]
v	Počet voleb hodnotové analýzy	[-]
q	Váha významnosti	[-]
K	Kritérium	[-]
C	Dynamická únosnost	[kN]
Co	Statická únosnost	[kN]
Pu	Únavové zatížení	[kN]
n	Otáčky	[/min]
Fr	Radiální zatížení	[N]
Fa	Axiální zatížení	[N]
Lh	Trvanlivost ložiska	[h]
L10h	Základní trvanlivost ložiska	[h]
d1	První průměr díry pružné spojky	[mm]
d2	Druhý průměr díry pružné spojky	[mm]
D	Celkový průměr pružné spojky	[mm]
L	Celková délka pružné spojky	[mm]
φ	Úhlová dráha	[rad]
t_r	Čas rozběhu	[s]
ε	Úhlové zrychlení	[rad · s ⁻²]
t_k	Čas konstantní rychlosti	[s]
ω	Úhlová rychlost	[rad/s]
t	Čas rotace	[s]
M	Krouticí moment motoru	[Nm]
I_3	Moment setrvačnosti	[kg · m ²]

1 Pracoviště

Na katedře robototechniky VŠB-TUO Ostrava se nachází pracoviště robotů Mitsubishi RV-1A a RV-2AJ (viz. Obr. 1). Roboty jsou umístěny na pracovním stole v bezpečné vzdálenosti od sebe, aby nedošlo ke kolizi a dostatečně blízko, aby splňovaly požadavky jednotlivých operací. Jedna z možných operací těchto robotů je přepolohování dřevěných kostiček po dřevěném pracovním stole.

Každý z těchto robotů má vlastní řídicí systém CR1-571 od firmy Mitsubishi. Oplocení pracoviště není potřeba. Člověk, který ovládá robot, musí zajistit bezpečnost všech přihlížejících osob. Z bezpečnostních důvodů se obsluha a diváci zdržují v bezpečné vzdálenosti od stolu. Stůl pracoviště vymezuje maximální dovolený pracovní prostor robotů. Pracoviště je vybaveno stop tlačítky na řídicích jednotkách jednotlivých robotů a je zajištěn i přísun elektrické energie.



Obr. 1 Současný stav pracoviště s roboty Mitsubishi

2 Popis robotů v součinnosti s polohovadlem

2.1 Modelová řada

Modelová řada robotů Mitsubishi Melfa (viz Obr. 2) - modelová řada robotů Melfa, která obsahuje spoustu různých typů modelů a verzí robotů. Sfěrické roboty RV jsou kompaktní s vysokým výkonem a nosností od 1 kg po 12 kg zatížení. Dále řada Melfa obsahuje roboty RP, které slouží k velmi přesnému polohování. Doba cyklu u těchto robotů bývá pod 1 s. [2]



Obr. 2 Modelová řada robotů Melfa 2010 [5]

Sfěrické roboty RV-1A/RV-2AJ malých rozměrů a dosahu přes 400 mm jsou pětiosé a šestiosé kompaktní roboty s maximálním užitečným zatížením 1 kg (model RV-1A) a 2 kg (RV-2AJ). Doba cyklu 1,2 s zajišťuje manipulační operace malých součástek na přesné místo. Další možností nasazení jsou při manipulaci se vzorky v laboratořích, zdravotnických zařízeních a v dalších odvětvích lehkého průmyslu.[2]

2.2 Mitsubishi RV - 1A

Mitsubishi RV-1A (Obr. 3) - šestiosý robot série Melfa s vertikálně kloubovou strukturou, který má užitečnou nosnost 1 kg. Výškový dosah 726 mm a přední dosah 418 mm. Přesnost robotu při opakování je ± 0.02 mm. Hmotnost robotu je 19 kg. Výrobce uvádí možnosti montáže na podlahu či strop. Robot lze jednoduše zařadit do výrobní linky díky jeho úzkému provedení. Pracovní prostor robotu a rozměry ramen můžeme vidět na Obr. 5. [2]

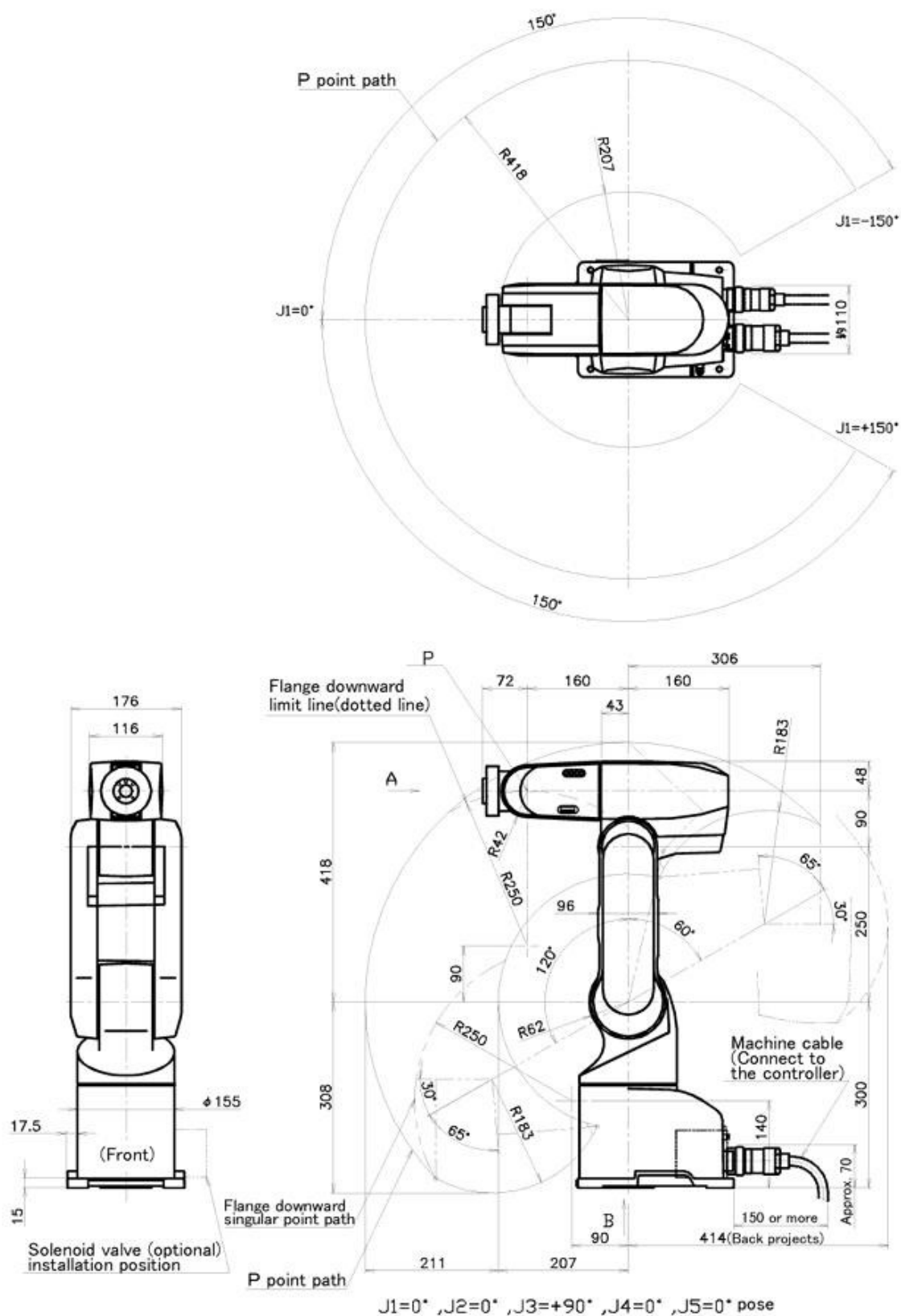


Obr. 3 Mitsubishi RV-1A

Řídicí jednotka dodávaná k robotu s označením CR1-571 (Obr. 4) dokáže současně řídit 6 os. Programovacím jazykem je MELFA-BASIC IV. Procesor jednotky je 64bitová RISC/DSP. Hmotnost řídicího systému je přibližně 8 kg. [4]



Obr. 4 Řídicí jednotka Mitsubishi CR1



Obr. 5 Pracovní prostor robotu Mitsubishi RV-1A [3]

2.3 Mitsubishi RV - 2AJ

Mitsubishi RV-2AJ (Obr. 6) - pětiosý robot série MELFA s vertikálně kloubovou strukturou, který má užitečnou nosnost 2 kg. Výškový dosah 695 mm a přední dosah 410 mm. Přesnost robotu při opakování je ± 0.02 mm. Hmotnost robotu je 17 kg. Výrobce uvádí možnosti montáže na podlahu či strop a díky útlé konstrukci se může integrovat do výrobní linky, kde nebude zabírat zbytečně mnoho prostoru. Pracovní prostor robotu vidíme na Obr. 7. [4]

Použitá řídicí jednotka robotu RV-2AJ na katedře robototechniky je stejná jako u modelu RV-1A.

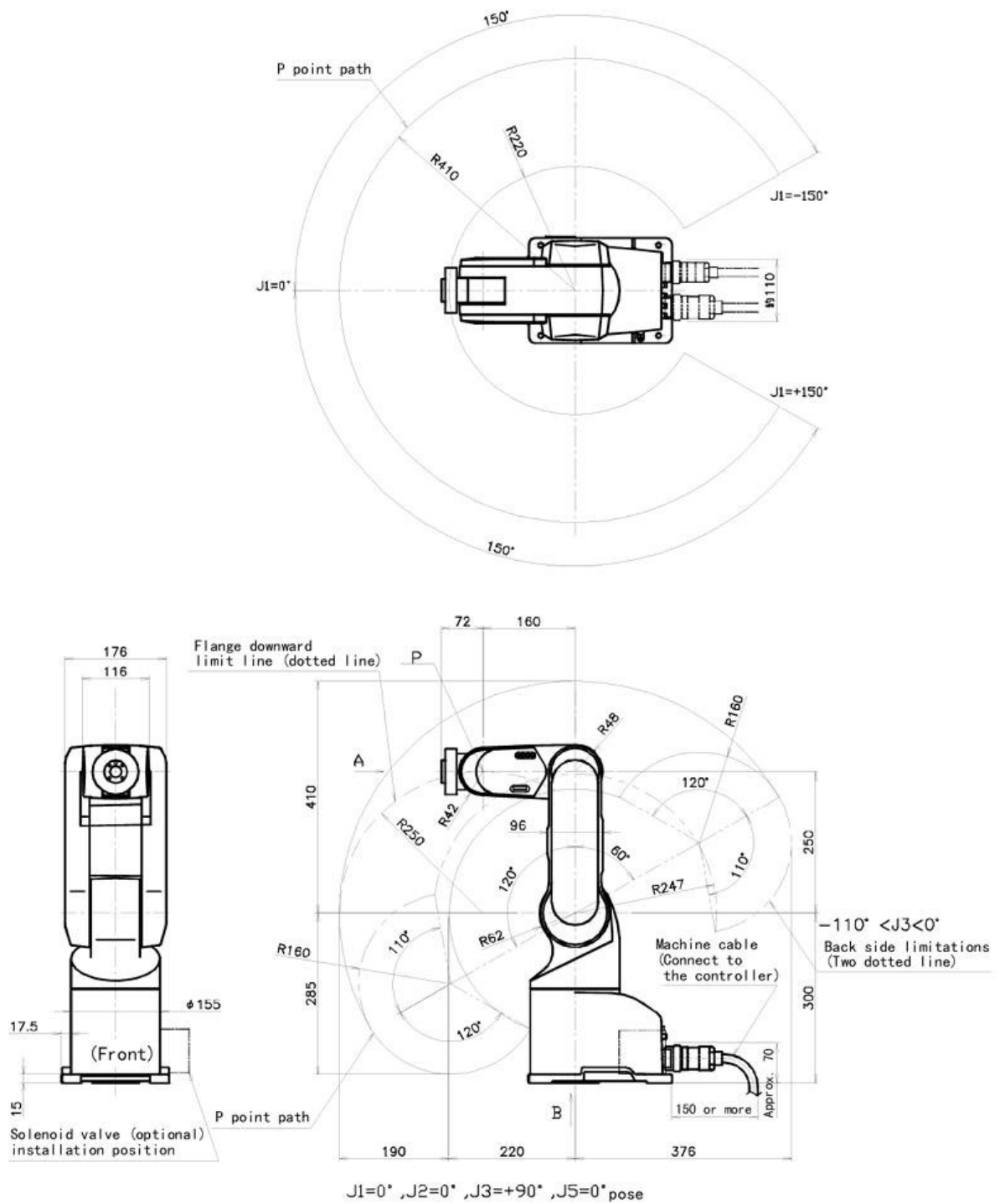


Obr. 6 Mitsubishi RV-2AJ s řídicí jednotkou CR1-571

Roboty Mitsubishi RV-1A a RV-2AJ používají efektor Mitsubishi 1A - HM01 hand s maximální šířkou rozevření čelistí 60 mm. Tyto efekty se dají objednat přímo s robotem a jsou doporučovány firmou Mitsubishi pro práci s malými objekty. [13]



Obr. 7 Efektor Mitsubishi 1A-HM01



Obr. 8 Pracovní prostor robotu Mitsubishi RV-2AJ [3]

3 Analýza vhodných existujících průmyslových polohovadel

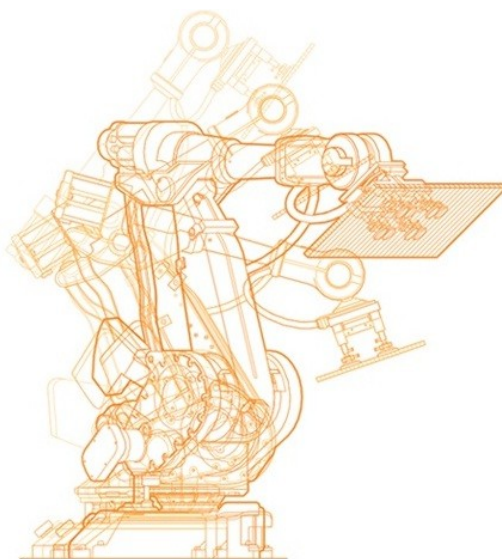
3.1 Analýza problematiky polohovadel

Polohovadlo - polohovadlo k robotu MITSUBISHI RV-1A by mělo být spíše řešeno jako rotační stůl, který bude provádět přesun objektu manipulace do požadované polohy pro robot, který bude objekt manipulace odebírat.

Robot - re-programovatelný multifunkční manipulátor navržený pro přenášení materiálu, součástí, nástrojů, nebo specializovaných zařízení, pomocí variabilně programovaných pohybů k provádění různých úkolů. [1]

Manipulátor - ve většině případů průmyslový robot s méně než třemi pohybovými osami nebo více jak třemi pohybovými osami bez možnosti naprogramování. [1]

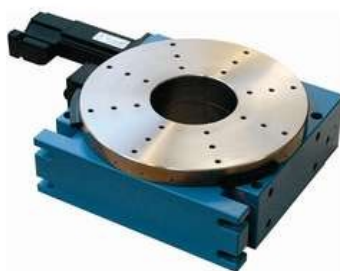
Průmyslový robot (Obr. 9) - mechanické zařízení, které může být naprogramováno pro vykonávání různých úkolů manipulačních a pohybových, při automatickém řízení. [1]



Obr. 9 Průmyslový robot ABB

3.2 Fohrenbach - Rotační stůl se šnekovým převodem

Mnohostranně využitelné rotační stoly (viz.Obr. 10) s otočnou deskou o průměru 300 mm a 400 mm. Otočná část je uložena na tvrzeném válečkovém ložisku, což umožňuje vysokou momentovou pevnost pro radiální i axiální zatížení, jakožto i snadné polohování při minimálním tření. Řízení se děje prostřednictvím krokových nebo AC servomotorů přes přesný, tvrzený a šnekový převod. Stůl je možné umístit vodorovně i svisle přes standardní otvory. [6]



Obr. 10 Fohrenbach rotační stůl se šnekovým převodem

3.3 Fohrenbach - Rotační stůl s přímým pohonem

RT4A 400 (Obr. 11) je výjimečně plochý rotační stůl, poskytující vysokou přesnost a dynamiku. Integrovaný přímý pohon a celkově nízká hmotnost zajišťuje možnost realizace i u aplikací, kde konvenční šneková koncepce je nedostatečná. Tento princip přímého pohonu nabízí vysoké zrychlení rotace, otáčky a bezvůlový provoz. [6]



Obr. 11 Fohrenbach RT4A

3.4 Sirap Group Petružálek – Rotační stůl TR

Rotační stůl vyroben z nerezavějící oceli AISI 304. Výška pracovní plochy je volně nastavitelná, stejně jako rychlost. Mechanický variátor je ponořen v olejové vaně. 220/380 V 50 HZ motor. [7]



Obr. 12 Rotační stůl Sirap Group Petružálek

3.5 ABB polohovadlo

Polohovadlo (Obr. 13) je určené pro svařence, kde je nutná rotace ve dvou osách – pro dosažení nejlepší polohy ve výrobním procesu. Polohovadlo je navrženo, aby zvládlo práci se svařenci do hmotnosti 750 kg. [8]



Obr. 13 Polohovadlo ABB s více stupni volnosti

3.6 Polohovadlo OJ-10P katedry robototechniky

Zařízení lze použít na pracovišti, kde je požadována nosnost polohovadla do 250 kg. Použití najde většinou při polohování manipulačních objektů pro svařování či montážních pracích.

Polohovadlo (Obr. 14) má 2 stupně volnosti. Osy rotací se protínají pod úhlem 45° . U obou os je možné plynule řídit rychlost a polohu natočení. Polohovadlo využívá pohyb harmonické převodovky se speciálním válečkovým ložiskem. Tyto součástky jsou převzaty ze základu průmyslového robotu. Nosná část tohoto polohovadla je řešena pomocí ocelových polotovarů. Pohon zajišťují dva elektromotory, které jsou navrženy pro nosnost 250 kg. [9]

Na Obr. 15 můžeme vidět druhé polohovadlo katedry podobného typu jako OJ-10P, které slouží k obsluze portálové svařovací stanice.



Obr. 14 Polohovací robot OJ-10 na katedře robototechniky VŠB-TUO Ostrava



Obr. 15 Polohovadlo u portálové svařovací stanice

4 Navržené varianty konstrukčního řešení

Při navrhování variant řešení musíme myslet na hlavní požadavky, které jsou zapsány v požadavkovém listě. Rotačnímu stolu musíme určit pohon, velikost pracovní desky, nosnost dle robotů, kteří budou se stolem spolupracovat a uvažovat nad problémem přenesení rotačního pohybu od motoru k nosné desce stolu.

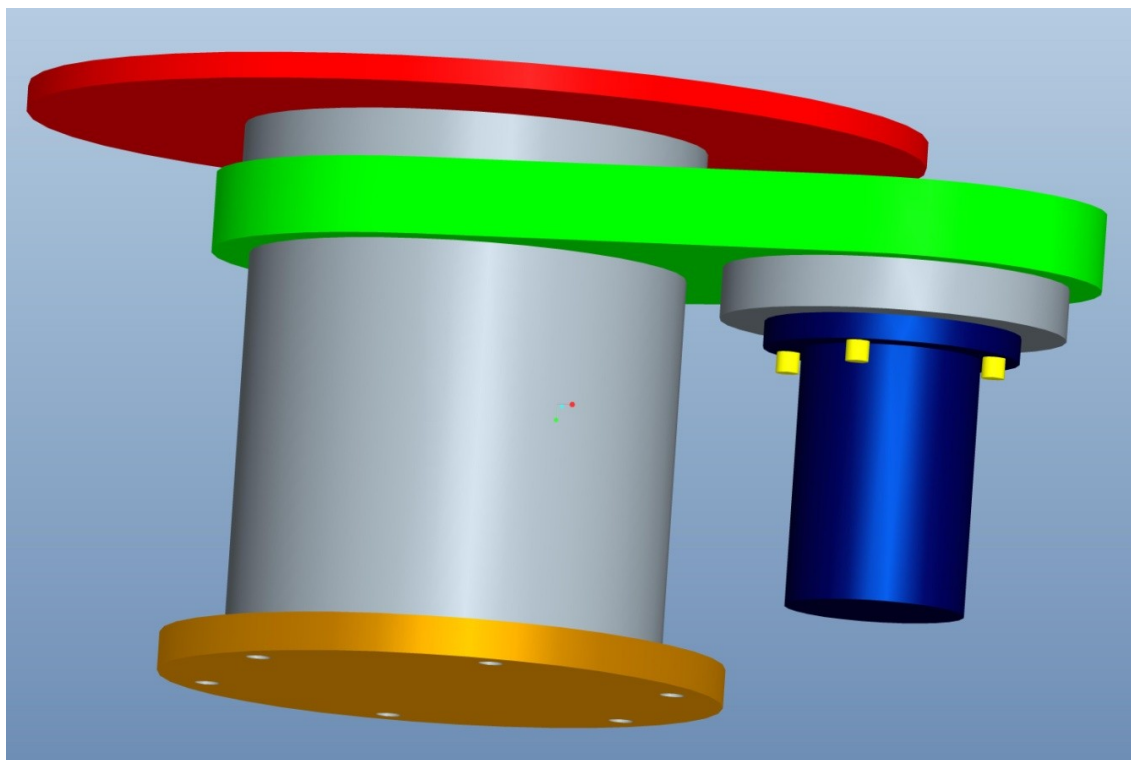
4.1 Požadavkový list

- Navrhněte konstrukci polohovadla pro robot Mitsubishi RV-1A
- Konstrukci řešte jako rotační stůl
- Průměr rotačního stolu min. 300 mm
- Nosnost stolu 6 kg
- Pracovní prostředí: Univerzitní centrum robotiky, prašnost, bez kontaktu s mazivou
- Dobrá smontovatelnost
- Dodržení bezpečnostních předpisů
- Nízké náklady na provoz a údržbu

Na základě požadavkového listu byly navrženy tři varianty řešení rotačního stolu. Každá z nich je jednoduše vymodelovaná v programu ProEngineer tak, aby byl vidět hlavní rozdíl mezi variantami. Nejdůležitější problém, který se řešil, je přenesení kroutícího momentu motoru na pracovní desku stolu. Proto se navržené varianty liší hlavně v tom, jak byl tento problém vyřešen. Dle všech tří návrhů a požadavkového listu byla vytvořena hodnotová analýza pro výběr optimální varianty.

4.2 Rotační stůl s mechanismem maltézského kříže

Varianta č. 1 (Obr. 16) - pohon stolu se skládá z elektromotoru napojeného na mechanismus maltézského kříže, který převádí pohyb na rotační desku a tím dochází k postupnému nastavování stolu do požadovaného natočení. Otáčí se pouze pracovní deska stolu (červená). Celý stůl je přišroubován ke stolu na pracovišti šrouby v podstavě.



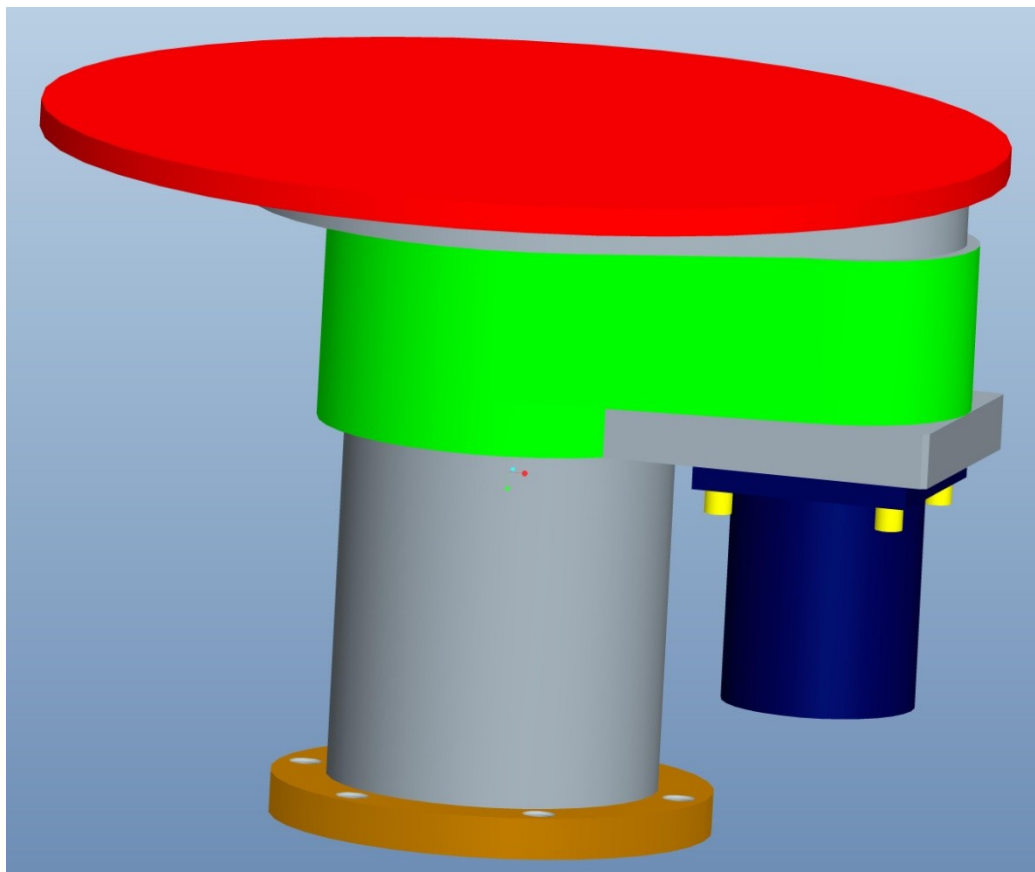
Obr. 16 Varianta s mechanismem maltézského kříže

Legenda:

- Červená - deska rotačního stolu
- Zelená - mechanismus maltézského kříže
- Modrá - pohon rotačního stolu
- Zlatá - podstava rotačního stolu
- Šedá - nosná skříň stolu.

4.3 Rotační stůl s třecím převodem

Varianta č. 2 (Obr. 17) – pohon stolu zajišťuje elektromotor, který je spojen s pracovní deskou třecím převodem. Pomocí tření se přenáší moment z elektromotoru na pracovní desku a ta se otáčí. Montáž je stejná jako u Varianty č. 1.



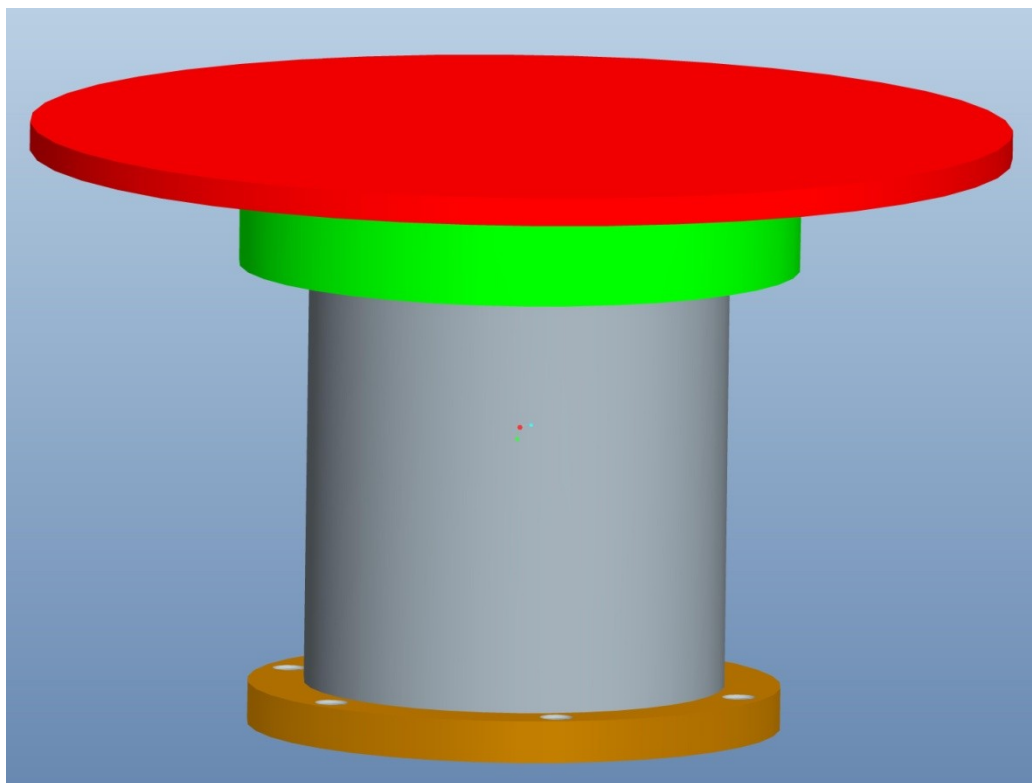
Obr. 17 Varianta stolu poháněného elektromotorem přes třecí převod

Legenda:

- Červená - deska rotačního stolu
- Zelená - třecí mechanismus
- Modrá - pohon rotačního stolu
- Zlatá - podstava rotačního stolu
- Šedá - nosná skříň stolu

4.4 Rotační stůl s krokovým motorem v ose otáčení

Varianta č. 3 (Obr. 18) – pohon stolu je zajištěn krokovým elektromotorem v ose otáčení stolu. Krokový motor provádí sám pootočení desky stolu do dané polohy.



Obr. 18 Varianta stolu s krokovým motorem

Legenda:

Červená - deska rotačního stolu

Zelená –kryt části skříně stolu, která zajišťuje otáčení

Zlatá - podstava rotačního stolu

Šedá - nosná skříň stolu

5 Určení optimální varianty

Dle požadavkového listu byla navržena kritéria, která se budou posuzovat na daných variantách polohovadla pro roboty Mitsubishi. Ke zjištění optimální varianty použijeme metodu porovnávání v trojúhelníkovém páru.

5.1 Hodnotová analýza

Hodnotovou analýzu provádíme z důvodu zdokonalení objektu, který chceme vytvořit. Vytvoříme si komplexní pohled na objekt z hlediska různých kritérií a analyzujeme stupně plnění funkce daného objektu.

Metoda porovnávání v trojúhelníkovém páru srovnává dvě kritéria mezi sebou. Kdyby se hodnotila všechna kritéria současně, metoda bude méně přesná.

Na počátku metody se určí kritéria, která budou důležitá při porovnávání variant. Do trojúhelníkového tvaru se zapíše dané porovnávací dvojice kritérií a barvou se označí, které kritérium je důležitější. Pokud jsou kritéria stejně důležitá, označí se obě. Takto označená kritéria se ohodnotí číslem. Pokud je kritérium důležitější, hodnotí se číslem jedna. Pokud jsou ve dvojici kritéria stejně důležitá, každé se ohodnotí číslem 0,5.

Počet voleb v odpovídá součtu významnosti kritérií. Pořadí se určuje od nejvyšší hodnoty v , kterému připadne první místo a naopak nejnižší hodnotě připadá poslední místo. Váha významnosti q je závislá na počtu voleb. Pro porovnání se používá lineární závislost $q = f(v)$. Rozsah váhy významnosti byl zvolen od jedné do dvou. Tudíž počet voleb $v = 1,5$ odpovídá váze významnosti $q = 1$ a počet voleb $v = 3,5$ odpovídá váze významnosti $q = 2$.

Váha významnosti lze také určit z rovnice přímky tak, že dosadíme dva již zmíněné body za x a y .

$$(y - 1) = \frac{2 - 1}{6 - \frac{1}{2}} \cdot (x - \frac{1}{2})$$

Tab. 1 Hodnotící kritéria

Kritérium č.	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	VÝROBA	Složitost výroby polohovadla
K2	POŘIZOVACÍ NÁKLADY	Celkové pořizovací náklady polohovadla
K3	NÁKLADY NA PROVOZ A ÚDRŽBU	Celkové provozní náklady včetně údržby
K4	SLOŽITOST KONSTRUKCE	Složitost konstrukce polohovadla vzhledem k montáži do konečného stavu
K5	VÝŠKA STOLU	Důležitý údaj, čím nižší stůl, tím je pracoviště kompaktnější
K6	BEZPEČNOST PŘI PRÁCI	Bezpečnost zařízení vzhledem k obsluze a servisu

Tab. 2 Hodnocení variant

Porovnávání párů kritérií					Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
K1	K1	K1	K1	K1	3,5	1	2
K2	K3	K4	K5	K6			
	K2	K2	K2	K2	3	2	1,455
	K3	K4	K5	K6			
		K3	K3	K3	1,5	4	1
		K4	K5	K6			
			K4	K4	2	3	1,273
			K5	K6			
				K5	1,5	4	1
				K6	3,5	1	2

Hodnoty byly variantám přisouzeny dle subjektivního názoru

Tab. 3 Významnost kritérií

Hodnoty kritérií	
Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 4 Rozsah hodnot kritérií

Významnost kritérií	
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Vyhodnocení variant, které byly navrženy:

Tab. 5 Varianta č. 1

Varianta č.1 - Rotační stůl s maltézským mechanismem				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Index změny	Vážený index kritérií
K1	3	2	3	6
K2	2	1,455	2	2,91
K3	3	1	3	3
K4	3	1,273	3	3,819
K5	3	1	3	3
K6	5	2	5	10
Celkový součet vážených indexů				28,729

Tab. 6 Varianta č. 2

Varianta č.2 - Rotační stůl s třecím mechanismem				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Index změny	Vážený index kritérií
K1	4	2	4	8
K2	3	1,455	3	4,365
K3	2	1	2	2
K4	3	1,273	3	3,819
K5	3	1	3	3
K6	5	2	5	10
Celkový součet vážených indexů				31,184

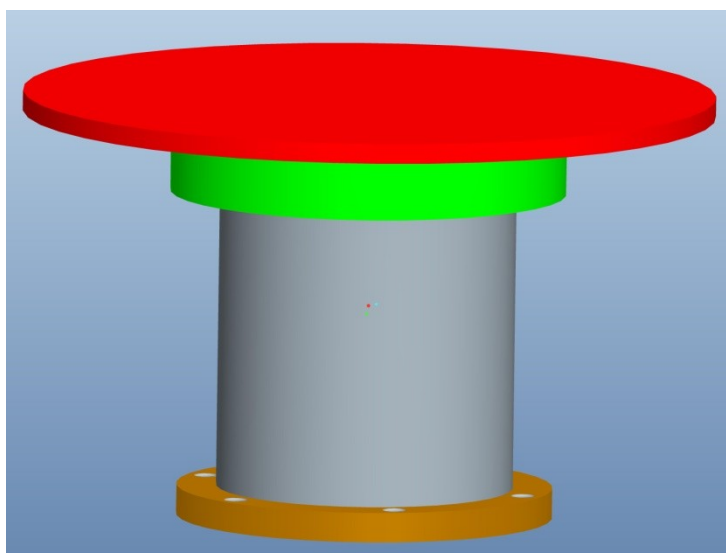
Tab. 7 Varianta č. 3

Varianta č.3- Rotační stůl s krokovým motorem v ose otáčení				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Index změny	Vážený index kritérií
K1	5	2	5	10
K2	4	1,455	4	5,82
K3	5	1	5	5
K4	5	1,273	5	6,365
K5	5	1	5	5
K6	5	2	5	10
Celkový součet vážených indexů				42,185

Tab. 8 Vyhodnocení výsledků hodnotové analýzy

Pořadí	Celkový součet vážených indexů	Varianta
1	42,185	3
2	31,184	2
3	28,729	1

Z výsledků hodnotové analýzy vyplývá, že na prvním místě, s největším součtem vážených indexů je **Varianta č. 3 - Rotační stůl s krokovým motorem v ose otáčení (Obr. 19).**



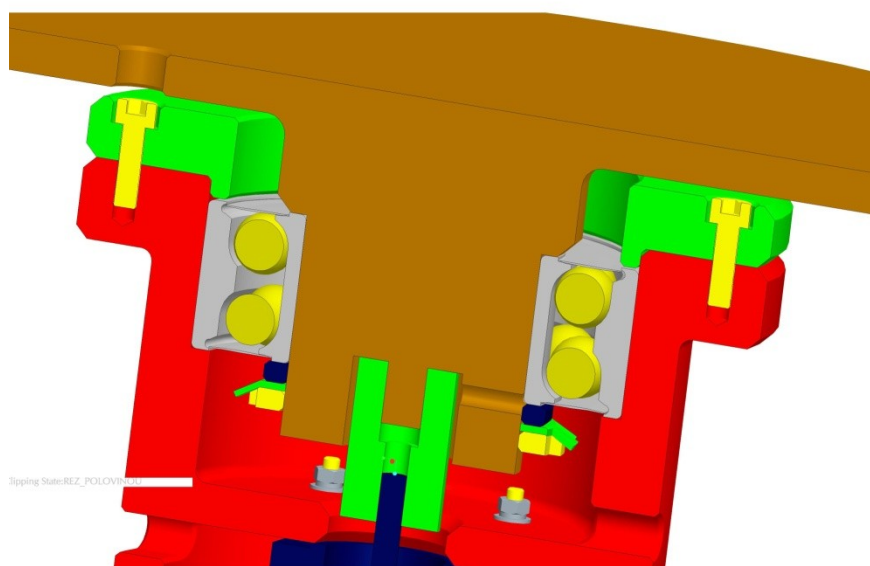
Obr. 19 Vybraná optimální varianta č. 3

6 Technické řešení, výpočty

Krokový elektromotor bude pevně připojen ke skříni rotačního stolu a bude napojen na hřídel rotační desky, která se bude otáčet po daných úhlech a přistavovat tak objekt manipulace robotu. Samotná deska se bude otáčet v ložisku, které bude pevně usazeno na hřídeli a ve skříni rotačního stolu.

6.1 Zajištění hřídele a ložiska

Ložisko je zajištěno na vnějším kroužku osazením na skříni stolu a z druhé strany víkem stolu (Obr. 20). Vnitřní kroužek je opřen o osazení hřídele a z druhé strany opřen o podložku, kterou jistí MB podložka s KM maticí.



Obr. 20 Zajištění hřídele a ložiska

Legenda: Zlatá - deska rotačního stolu

Modrá - podložka pod ložiskem

Zelená - víko stolu

Zelená - MB podložka

Červená - skříň stolu

Žlutá - KM matice

Šedá - ložisko

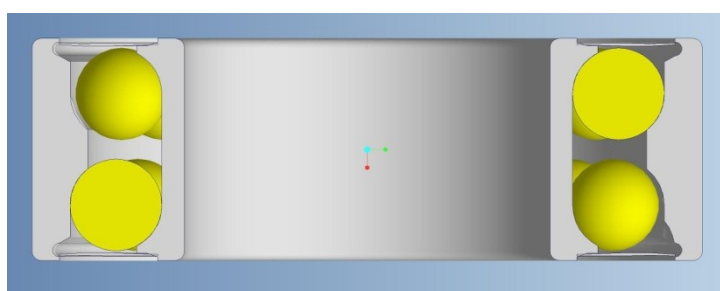
Zelená – pružná spojka

6.2 Navržení ložiska

Ložisko pro rotační stůl jsem zvolil od firmy SKF označení 5212 E - 2Z (Obr. 21) v provedení – ložisko celkově uzavřeno. Uzavřené ložisko nepropouští prach či mastnotu, a proto není potřeba uvažovat o víku stolu s těsněním proti nečistotám. [15]

Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, dvouřadá									
Informace o výrobku									
Hlavní rozměry			Únosnosti		Mezní	Připustné otáčky		Hmotnost	Označení
d	D	B	C	C ₀	únavové zatížení P _u	Referenční otáčky	Mezní otáčky		
mm					kN	min ⁻¹		kg	-
55	100	33,3	66	76,5	3,2	5600	6000	1,15	5211 E-2Z
55	120	49,2	112	81,5	3,45	5300	5300	2,55	3311 A *
55	120	49,2	112	81,5	3,45	-	3800	2,55	3311 A-2RS1/MT33 *
55	120	49,2	112	81,5	3,45	5300	5300	2,55	3311 A-2Z/MT33 *
55	120	49,2	112	81,5	3,45	5300	5300	2,55	3311 ATN9 *
55	120	49,2	111	100	4,3	4800	5000	2,80	3311 DMA
55	120	49,2	95,6	83	3,55	4800	5000	2,55	3311 DNRCBM
55	120	49,2	111	100	4,3	4800	5000	2,80	3311 DTN9
55	120	49,2	112	81,5	3,45	5300	5300	2,55	5311 A-2Z *
55	120	49,2	119	122	5,2	5000	5300	2,65	5311 E
55	120	49,2	119	122	5,2	5000	5300	2,65	5311 E-2Z
55	140	63,5	146	108	4,55	4300	4500	4,70	5411 A
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	5600	5600	1,40	3212 A *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	-	4000	1,40	3212 A-2RS1/MT33 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	-	4000	1,40	3212 A-2RS1TN9/MT33 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	5600	5600	1,40	3212 A-2Z/MT33 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	5600	5600	1,40	3212 ATN9 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	5600	5600	1,40	5212 A *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	-	4000	1,40	5212 A-2RS1 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	5600	5600	1,40	5212 A-2Z *
60	110	36,5	78,1	88	3,75	5000	5300	1,50	5212 E
60	110	36,5	78,1	88	3,75	-	4000	1,50	5212 E-2RS1
60	110	36,5	78,1	88	3,75	5000	5300	1,50	5212 E-2Z
60	130	54	127	95	4,05	5000	5000	3,25	3312 A *
60	130	54	127	95	4,05	5000	5000	3,25	3312 A-2Z/MT33 *

Obr. 21 Řada kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem firmy SKF (označené modře je zvolené ložisko)



Obr. 22 Řez ložiskem 5212 E - 2Z

6.3 Výpočet ložiska

Ložisko zkontrolováno programem Mitcalc 1.6.

Mitcalc obsahuje sadu strojírenských, průmyslových a technických výpočtů pro praxi. Spolehlivě a přesně provede návrh součásti či výpočtu uzlu bez větších nároků na speciální odborné vlastnosti. [10]

Pro výpočet životnosti ložiska jsem použil návrhový a kontrolní výpočet programu Mitcalc. Zadáním zatížení ložiska, typem ložiska a otáček program určil základní trvanlivost ložiska, které se nachází na rotačním stole.

Obr. 23 Zvolení zatížení ložiska v programu Mitcalc

Obr. 24 Zvolení rozměru ložiska a výčet výsledků

Zadáním potřebných parametrů byl vyhodnocen dostatečný počet pracovních hodin, a to 19 744 016 523 h.

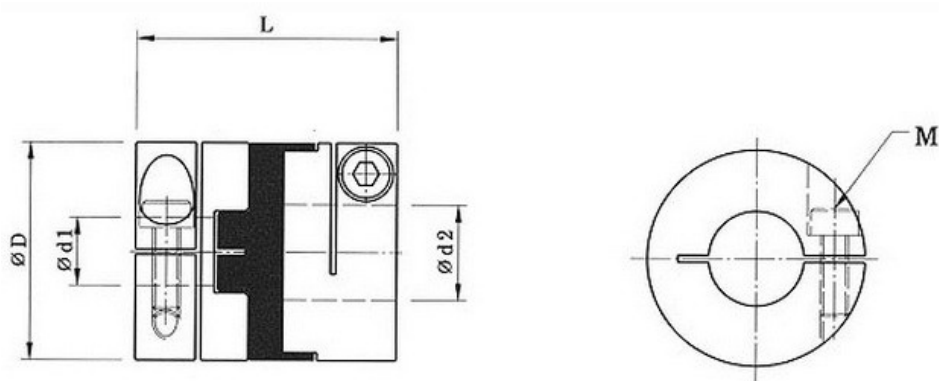
6.4 Návrh připojení motoru k hřídeli rotačního stolu

Spojení motoru a hřídele je zajištěno pružnou spojkou (Obr. 27). Ta má dvě části, do kterých se zasune hřídel motoru a do druhé válec uvnitř hřídele rotační desky. Každá hřídel má stejné rozměry jako díra ve spojce. Spojka je určena pro kompenzaci nesouososti a radiální vůle mezi hřídelemi. Výrazně také omezuje rezonance a tlumí přenos vibrací z motoru na ostatní části celku. [12]

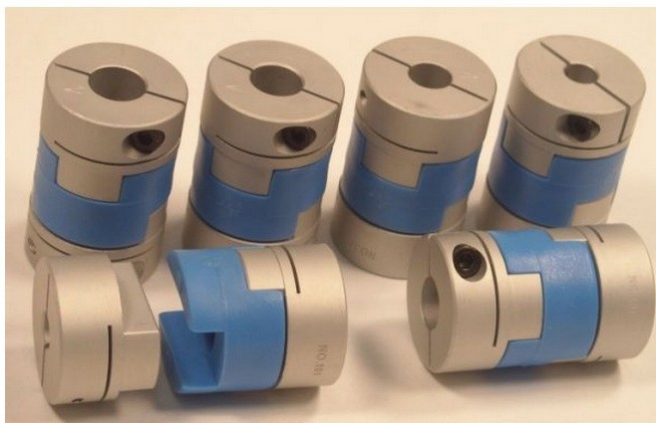
Pro navrhovaný rotační stůl byla zvolena pružná spojka svěrná LK25C. S průměry 6,35 mm a 10 mm. Označení spojky LK25C-6,35/10.

Typ	d1 [mm]	d2 [mm]	D [mm]	L [mm]	Moment [Nm]	offset [max°]	nesouosost [mm]
LK25C-6/6	6	6	25	39	6	3	1,9
LK25C-6/6,35	6	6,35	25	39	6	3	1,9
LK25C-6/8	6	8	25	39	6	3	1,9
LK25C-6/10	6	10	25	39	6	3	1,9
LK25C-6,35/6,35	6,35	6,35	25	39	6	3	1,9
LK25C-6,35/8	6,35	8	25	39	6	3	1,9
LK25C-6,35/9,525	6,35	9,525	25	39	6	3	1,9
LK25C-6,35/10	6,35	10	25	39	6	3	1,9
LK25C-8/8	8	8	25	39	6	3	1,9
LK25C-8/9,525	8	9,525	25	39	6	3	1,9
LK25C-8/10	8	10	25	39	6	3	1,9

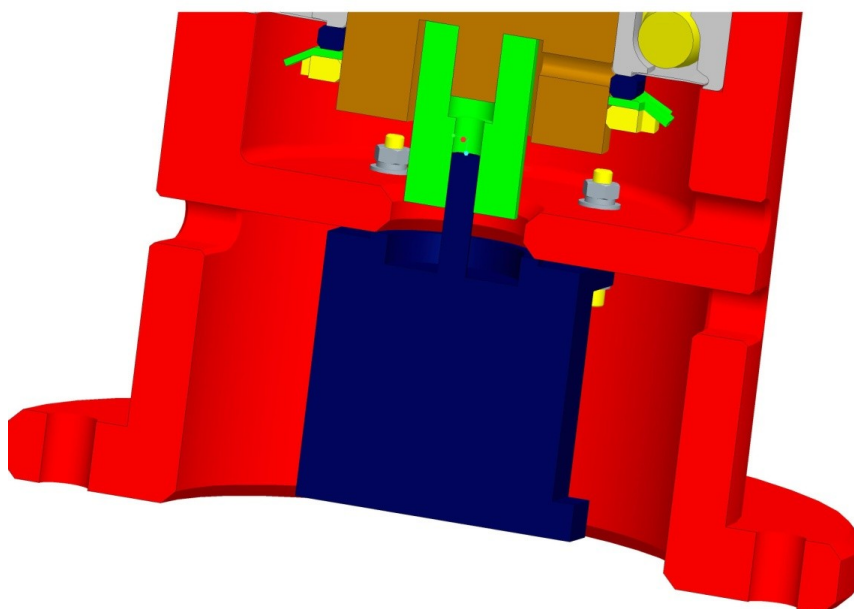
Obr. 25 Tabulka rozměrů pružných spojek [12]



Obr. 26 Jednotlivé rozměry pružné spojky [12]



Obr. 27 Pružné spojky [12]



Obr. 28 Připevnění motoru ke skříni

Legenda: Červená - skříň stolu

Modrá - pohon stolu- krokový elektromotor

Zlatá - hřídel rotační desky

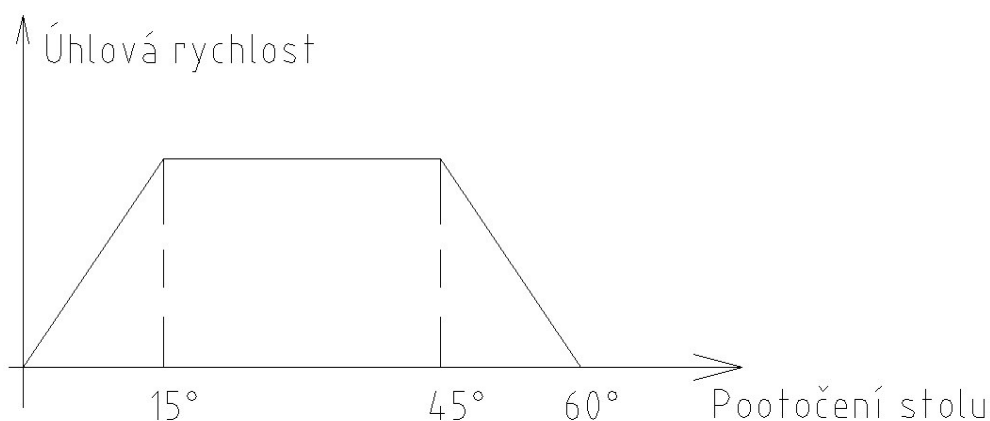
Žlutá u motoru – připevňovací šroub

Zelená – pružná spojka

6.5 Výpočet požadovaného kroutícího momentu motoru

Určení požadovaného úhlového zrychlení pro další výpočet momentu motoru:

Pro výpočet momentu motoru musíme použít jeho nejvytíženější stav, který připadá rozjezdu stolu (Obr. 25) z nulové rychlosti do konstantní rychlosti pohybu.



Obr. 29 Závislost úhlové rychlosti na pootočení rotačního stolu

Dle grafu určíme:

$$1 \text{ otočení} = 60^\circ = 1 \text{ s}$$

$$1 \text{ otočení} = 15^\circ \text{ rozběh} + 30^\circ \text{ konstantní rychlost} + 15^\circ \text{ zpomalení} = 60^\circ$$

Vstupní parametry:

$$\varphi = 15^\circ = 0,262 \text{ rad}$$

$$\text{Čas rozběhu: } t_R = 0,25 \text{ s}$$

$$\text{Čas konstantní rychlosti: } t_K = 0,5 \text{ s}$$

$$\text{Celkový čas otočení o } 60^\circ: t = 1 \text{ s} = 0,25 \text{ s} + 0,5 \text{ s} + 0,25 \text{ s}$$

Výpočet:

Výpočet úhlové rychlosti: $\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{0,262}{0,25} = 1,05 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ (1)

Určení úhlového zrychlení: $\varphi = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot t^2$ (2)

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} \Rightarrow t = \frac{\omega}{\varepsilon} \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot \left(\frac{\omega}{\varepsilon} \right)^2 \Rightarrow \varepsilon \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{\omega^2}{2\varphi} \quad (5)$$

Výpočet úhlového zrychlení: $\varepsilon = \frac{1,05^2}{2 \cdot 0,262} = 2,1 [\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}]$ (6)

Výpočet potřebného momentu motoru k rozběhu rotačního stolu:

$$M = I \cdot \varepsilon \quad (7)$$

I = Moment setrvačnosti sestavy (z programu ProE pro mou danou součást->

$$I_3 = 0,26213 \text{ kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$M = 0,26213 \cdot 2,1 = 0,55 \text{ Nm} \quad (8)$$

Jakmile byl vypočítán potřebný moment motoru, přešlo se k návržení motoru od externí firmy.

6.6 Zvolení motoru

Pro rotační stůl dle výpočtů byl zvolen krokový motor od firmy Kollmorgen série P2 (Obr. 30), který udrží moment 0,78 Nm, což je dostačující pro řešený rotační stůl. Motor je připojen na hřídel pomocí tvarové drážky na hřídeli.

M2 / P2 Series Stepper Motors

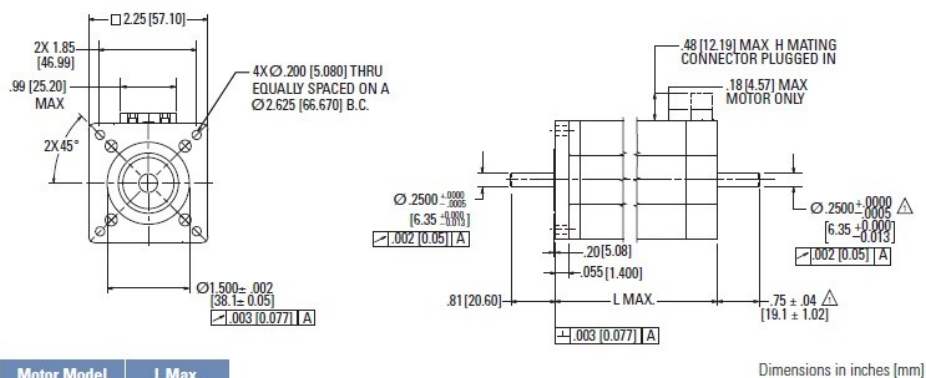
General Specifications



Obr. 30 Motory Kollmorgen řady M2/P2

M2 / P2 Series Outline Drawings

M2 / P2 Regular Construction Hookup



Motor Model	L Max.
P2H	1.60 [40.7]
P or M21	2.06 [52.3]
P or M22	3.10 [78.7]

Obr. 31 Rozměry motoru M2/P2 série firmy Kollmorgen

M2 / P2 Performance Data

	Motor Model Number	Config.			Holding Torque (2 phases on) oz-in (Nm) +/-10%	Rated Current/ Phase Amps DC	Phase Resistance Ohms +/-10%	Phase Inductance mH Typical	Detent Torque oz-in (Nm)	Thermal Resistance °C/Watt	Rotor Inertia oz-in-s ² (kg-m ² x10 ⁻³)	Weight lb (kg)	Shaft Loading*	
		Parallel	Series	Unipolar									Radial Force lb (N)	Axial Force lb (N)
Short Stack	P2HxxxH-L	•			59 (0.42)	5.2	0.22	0.50	2.5 (0.018)	6.6	0.0010 (0.0071)	1.0 (0.45)	20 (89)	13 (58)
	P2HxxxH-L		•			2.6	0.90	1.9						
	P2HxxxB-L	•				2.6	0.76	1.9						
	P2HxxxB-L		•		59 (0.42)	1.3	3.04	7.6						
	P2HxxxC-L	•				2.5	0.84	2.3						
	P2HxxxC-L		•			1.25	3.36	9.2						
	P2HxxxF-L	•			61 (0.43)	1.61	1.92	5.1						
	P2HxxxF-L		•			0.8	7.68	20.4						
	P2HxxxH-L			•		3.68	0.44	0.50						
	P2HxxxB-L			•	42 (0.30)	1.84	1.52	1.9						
	P2HxxxC-L			•		1.77	1.68	2.3						
	P2HxxxF-L			•		1.1	3.84	5.1						
1Stack	P21xxxA-L	•			114 (0.81)	5.6	0.23	0.80	4.0 (0.028)	5.5	0.0017 (0.012)	1.5 (0.68)	20 (89)	13 (58)
	P21xxxA-L		•			2.8	0.92	3.2						
	P21xxxB-L	•				4.6	0.32	1.1						
	P21xxxB-L		•		111 (0.78)	2.3	1.28	4.4						
	P21xxxC-L	•				3.5	0.53	2.3						
	P21xxxC-L		•			1.75	2.12	9.2						
	P21xxxD-L	•			109 (0.77)	1.51	2.61	10.3						
	P21xxxD-L		•			0.76	10.4	41.2						
	P21xxxA-L			•		81 (0.57)	4.0	0.46						
	P21xxxB-L			•	79 (0.56)	3.3	0.64	1.1						
	P21xxxC-L			•		82 (0.58)	2.5	1.06						
	P21xxxD-L			•		77 (0.54)	1.07	5.22						

Obr. 32 Technické parametry zvoleného krokového elektromotoru [11]

Technické parametry:

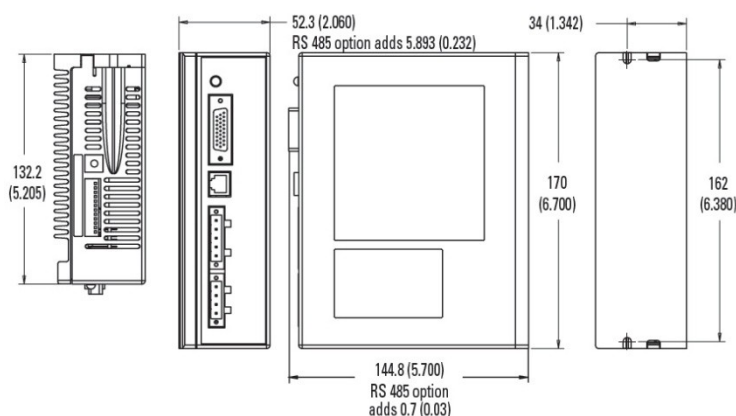
Kroutící moment motoru:	0,78 Nm		
Jmenovitý proud DC:	2,3 A		
Fázový odpor:	1,28 Ω		
Fázová indukčnost:	4,4 mH		
Aretační moment:	0,028 Nm		
Tepelný odpor:	5,5° C/W		
Setrvačnost rotoru:	$0,012kg \cdot m^2 \cdot 10^{-3}$		
Váha motoru:	0,68 kg		
Zatížení hřídele radiální:	89 N	Axiální:	58 N

6.7 Zvolení řídicí jednotky motoru

Řídicí jednotka byla zvolena od firmy Kollmorgen, označení P70360-R4.

Tab. 9 Technické parametry řídicí jednotky [14]

Vstupní napětí	120 nebo 240 VAC
Trvalý proud	2,5 Amps RMS
Maximální proud mikro kroku	3,5 Amps PEAK
Vyhrazené výstupy	+/- Volný, +/- Krok & Dir 5 TTL
Poruchový výstup	Otevřený kolektor 5 - 24 VDC
Programovatelné vstupy	9 nakonfigurovatelných
Redukce klidového proudu	Nastavitelně 0 - 100%
Rozsah kroků	200 – 50 000 kroků / otáčku
Rozsah provozních teplot okolí	0 – 45 °C
Maximální pracovní teplota	70 °C
Rozsah rychlostí	0 – 50 otáček / s

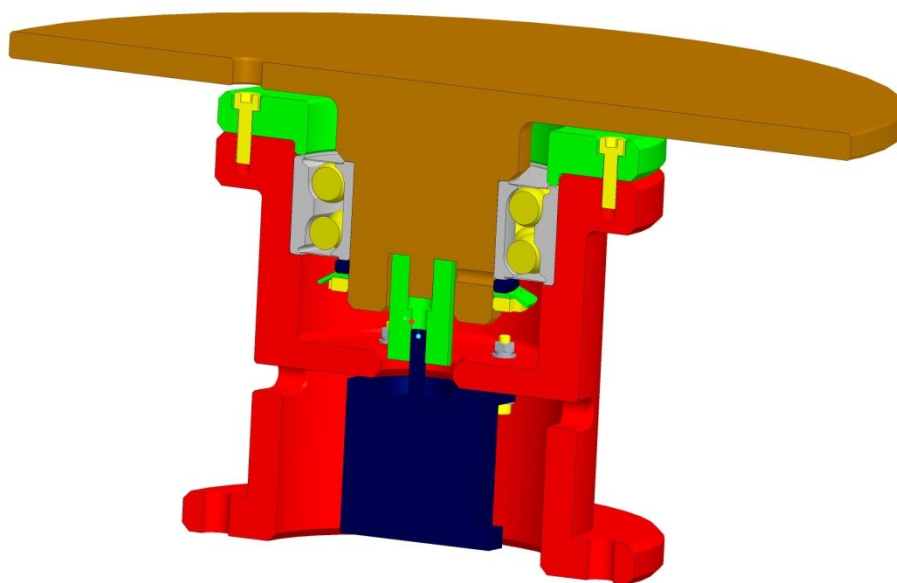


Obr. 33 Rozměry řídicí jednotky [14]

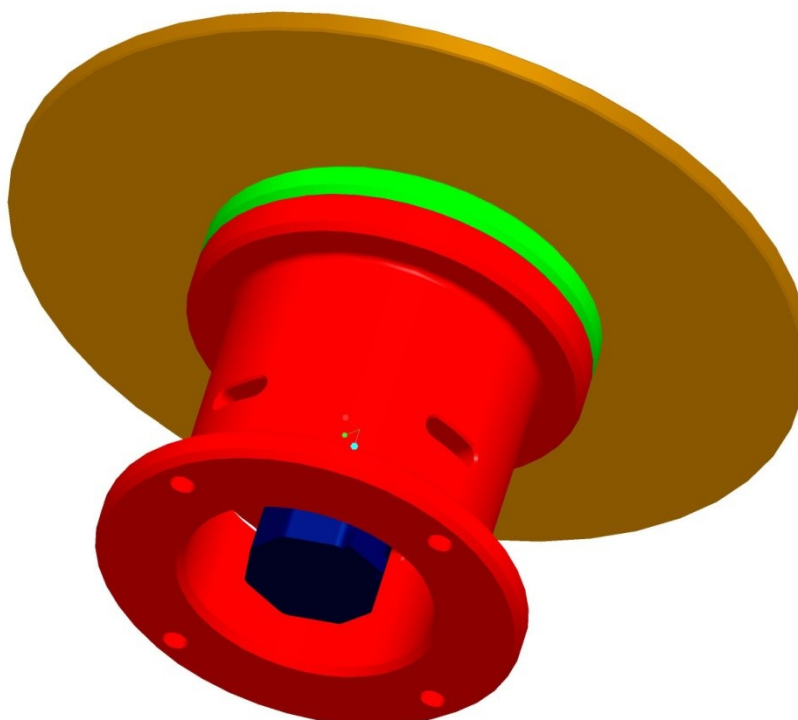


Obr. 34 Řídicí jednotka P70360-R4 [14]

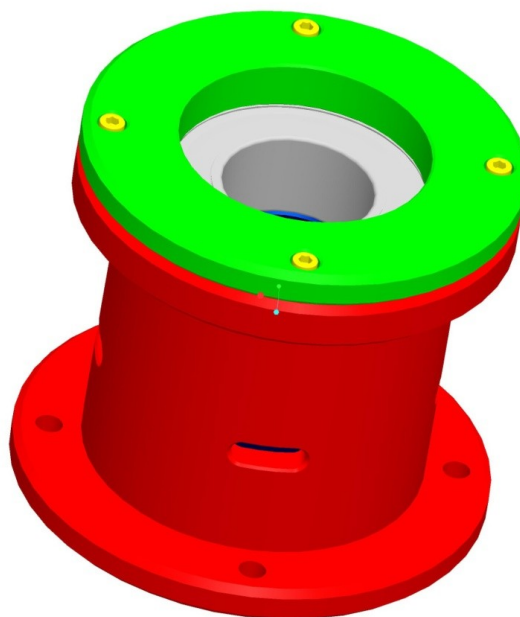
6.8 Celkový pohled na optimální variantu



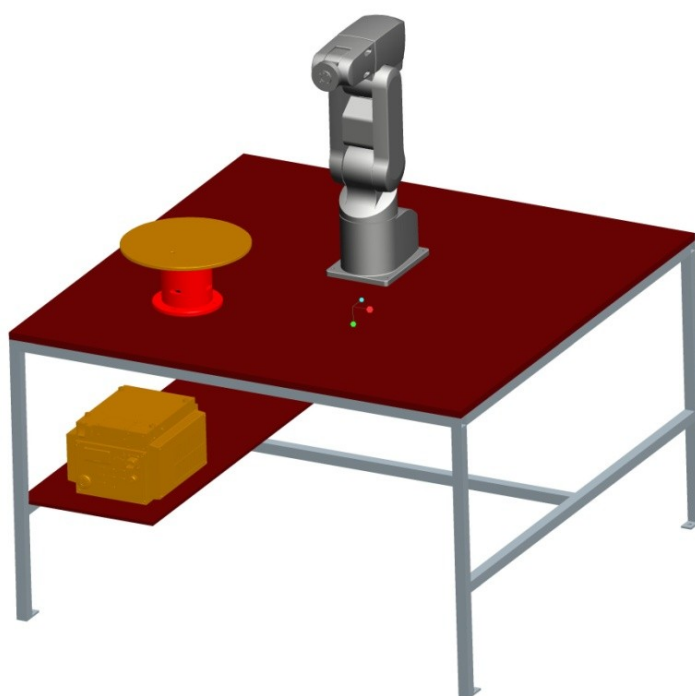
Obr. 35 Řez sestavou rotačního stolu



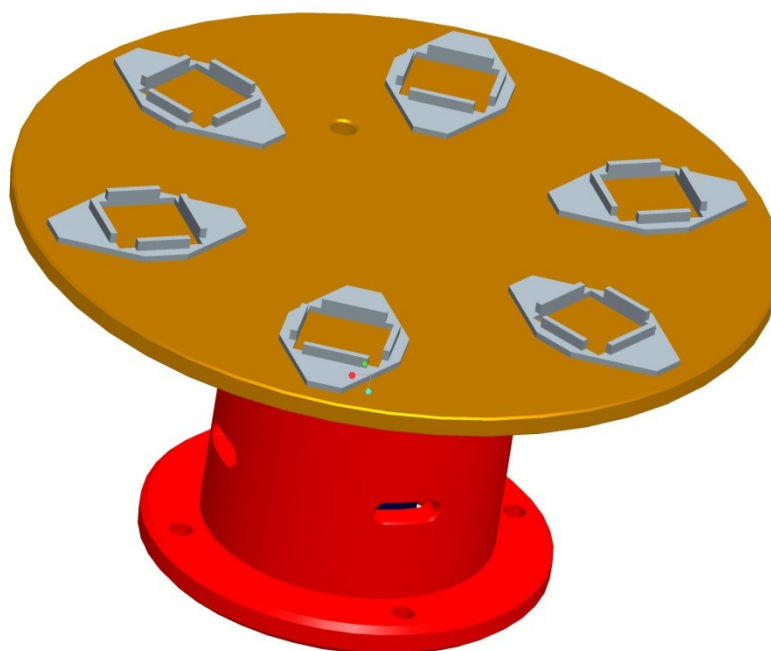
Obr. 36 Pohled zespodu na sestavu rotačního stolu



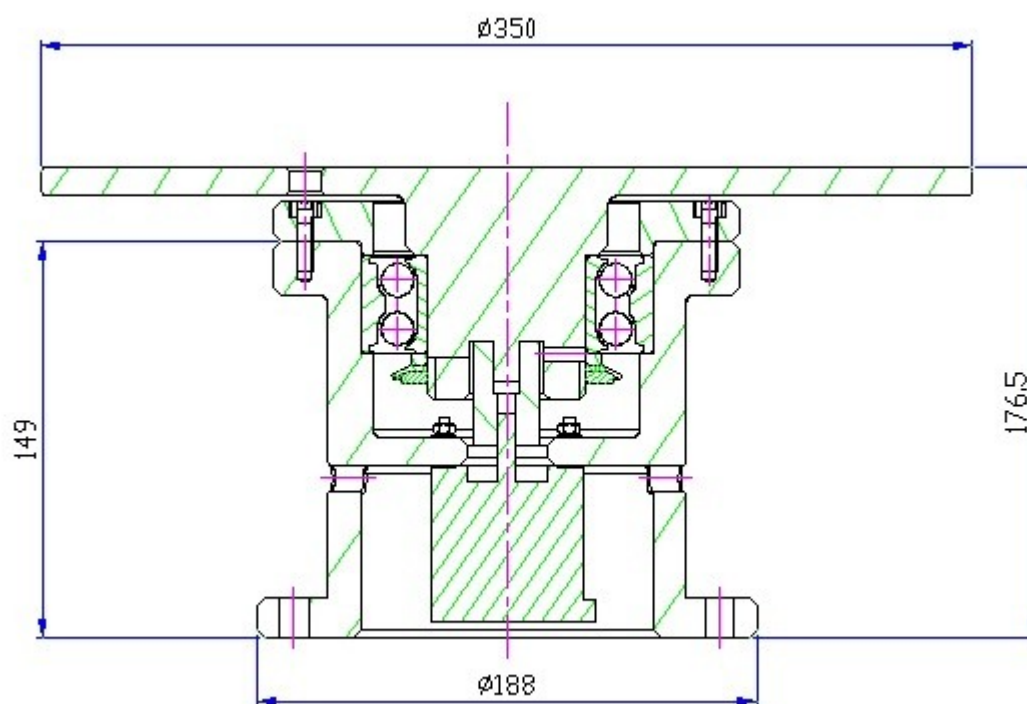
Obr. 37 Pohled shora na sestavu rotačního stolu bez desky



Obr. 38 Pohled na pracoviště robotu Mitsubishi RV-1A s rotačním stolem



Obr. 39 Rotační stůl s možnými přípravky pro manipulaci s objekty tvaru krychle o straně $< 40 \text{ mm}$



Obr. 40 Základní rozměry rotačního stolu, řez stolem

7 Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo navrhnout, co nejjednodušší konstrukci polohovadla, jakožto rotačního stolu. Dle požadavkového listu byly splněny všechny podmínky pro samotnou tvorbu konstrukce a návrhu polohovadla. Celé zařízení je možné tisknout technologií Rapid Prototyping. Tudiž všechny jednotlivé komponenty stolu byly navrženy, tak aby se daly touto technologií jednoduše vyrobit.

Celé polohovadlo bude přišroubováno na stůl pracoviště Mitsubishi robotů na katedře robototechniky VŠB – TU Ostrava. Zařízení má sloužit robotu Mitsubishi RV – 1A a později také možná k účelům výukovým, jako je programování polohovadla pro práci s roboty na pracovišti.

Krokový elektromotor přišroubovaný ke skříni je napojen přes pružnou spojku k rotační desce celého stolu, která se otáčí a zajišťuje tak hlavní rotační pohyb polohovadla. Od motoru vedoucí kabeláž bude ze skříně odcházet jedním ze čtyř oválných otvorů, které jsou ve skříni vyvrtány. Otvory z části plní funkci chlazení a umožňují výstup kabeláže při jakémkoli natočení motoru. Celá hřídel desky je zajištěna v ložisku, které umožňuje otáčení. Ložisko je jištěno víkem a osazením na vnitřní straně skříně.

Šrouby použité k upevnění motoru a víka jsou normalizované s vnitřním šestihranem. Šrouby zajišťující víko, které drží ložisko, se utahují šroubovákem přes díru v rotační desce stolu, která je tomu přizpůsobená.

Samotná deska stolu může být upravena, pro v budoucnu zadanou práci, například pogumováním či vyvrtáním několika malých otvorů k ustavení přípravku pro manipulaci s různorodými objekty.

Rotační stůl byl navržen pouze pro robot Mitsubishi RV-1A, pokud bychom chtěli, aby rotační stůl pracoval zároveň s oběma roboty na pracovišti, musela by vzdálenost vertikálních os základů robotů být nejméně 940 mm, nyní je tato vzdálenost 1340 mm, přitom by každý robot bral objekt manipulace z jiného konce rotačního stolu a zároveň by nikdy nemohlo dojít ke kolizi robotů mezi sebou. Pro variantu dvou robotů zapojených do manipulačního cyklu by bylo lepší zvolit větší rotační desku polohovadla. V tomto případě by ale bylo pracoviště náročnější na naprogramování. V případě komunikace s jedním robotem si vystačíme s rotační deskou průměru 350 mm.

8 Seznam literatury

- [1] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1.vyd., Ostrava: skripta VŠB TU-Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1520-0. 260s.
- [2] MY.MITSUBISHI: [online].
http://www.robotics.ucv.ro/olimpiada_mec_2012/data_uploaded/documentatie/132309.pdf
- [3] MITSUBISHIROBOTS: [online].
<http://www.mitsubishirobots.com/RV1A.html>
- [4] Mitsubishi CR1-571: [online].
<http://www.roboex.com/n31.html>
- [5] GOOGLE : Zdroj Obrázky [online] – Mitsubishi Melfa
http://www.google.cz/imgres?hl=cs&biw=1366&bih=643&tbnid=QhnbZTJ19QJfCM:&imgrefurl=http://www.automatizace.cz/article.php%3Fa%3D685&docid=s_vE8NOawq5nPM&imgurl=http://www.automatizace.cz/images/article/1301_37.jpg&w=577&h=415&ei=xSy0T_rcJcJZtAa018WTDA&zoom=1&iact=rc&dur=275&sig=102477738940707255291&page=1&tbnh=129&tbnw=180&start=0&ndsp=21&ved=1t:429,r:7,s:0,i:84&tx=123&ty=57
- [6] FOHRENBACH: [online]. <http://www.marek.eu/cz/produkty/b-fohrenbach-b-polohovaci-systemy/rotacni-polohovaci-stoly/rotacni-stoly-rt1-se-snekovym-prevodem/>
- [7] SIRAP GROUP: [online]. <http://www.petruszalek.cz/>
- [8] ABB Polohovadlo IRBP A: [online].
<http://www.abb.com/product/seitp327/c6141c424b2993bbc12577c200537130.aspx?productLanguage=cz&country=00>

- [9] HISTORIAROBOTIKY, Polohovadlo OJ 10P: [online].
<http://historiarobotiky.adamdevop.com/wp-content/uploads/manuals/oj10pmanual.pdf>
- [10] MITCALC: [online]. <http://mitcalc.com/index.htm>
- [11] KOLLMORGEN: [online]. <http://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/stepper/powermax-m-and-p-series/>
- [12] Pružná spojka LK25C: [online] . <http://www.cncshop.cz/lk25c-pruzna-spojka-6nm-oldham-sverna>
- [13] Efektor: [online]. <http://www.hellotrade.com/rixan-associates-usa/product3.html>
- [14] Řídící jednotka motoru Kollmorgen: [online].
<http://www.kollmorgen.com/en-us/products/drives/stepper/p7000-series/>
- [15] SKF Ložisko dvouřadé kuličkové s kosoúhlým stykem: [online].
http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=cs&newlink=1_3_21

9 Seznam příloh

9.1 Výkresy

- Dispoziční výkres	Dispozice RTP	BP-2012-KUB0038-1
- Výkres sestavy	Polohovadlo	BP-2012-KUB0038-2
- Výrobní výkres	Skříň polohovadla	BP-2012-KUB0038-3

9.2 CD-ROM

- Bakalářská práce
- Výkresy
- Model polohovadla a pracoviště